动 物 学 研 究 2009，Dec. 30(6)：707－712　　CN 53-1040/Q　ISSN 0254-5853
Zoological Research　　DOI：10.3724/SP.J.1141.2009.06707

滇池金线鲃形态度量学分析

(Cypriniformes: Cyprinidae)

闵　锐[1,2]，叶　莲[3]，陈小勇[1,*]，杨君兴[1,*]

（1. 中国科学院昆明动物研究所，云南　昆明　650223；2. 中国科学院研究生院，北京　100049；
3. 西南林业大学　保护生物学院，　云南　昆明　650224）

摘要：运用多变量形态度量学和框架结构形态学的方法，测量了采自滇池流域 6 个不同地点的 149 尾滇池金线鲃（*Sinocyclocheilus grahami*）的标本。应用多变量形态度量学分析，选择了 20 个框架结构性状和 19 个常规性状，进行主成成分分析。主成成分分析结果的散布图显示，6 个不同地点的标本聚在一起没有分开，表明滇池金线鲃的各居群之间在可数性状和可量性状上均未表现出明显的差异，说明滇池金线鲃在形态上还未发生明显的种下分化。

关键词：滇池金线鲃；多变量形态度量学；主成分分析；滇池；云南
中图分类号：Q959.4　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0254-5853-(2009)06-0707-06

Morphometrics Analysis of *Sinocyclocheilus grahami*

(Cypriniformes: Cyprinidae)

MIN Rui[1,2], YE Lian[3],CHEN Xiao-yong[1,*], YANG Jun-xing[1,*]

(1. *Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Kunmiing Yunnan* 650223, *China;* 2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing,* 100049, *China;* 3. *Faculty of Conservation Biology, Southwest Forestry College, Kunming Yunnan* 650224, *China*)

Abstract: One hundred and fourty-nine specimens of *Sinocyclocheilus grahami* from six different localities of Lake Dianchi area were examined. Twenty frame and nineteen general characteristics, thirty-nine characteristics in sum were measured for multivariate morphometrics analysis. Based on the results of principal components analysis, specimens clustered together by scatter plots of scores could not be divided. It indicated that there is no morphological diversification under species level.

Key words: *Sinocyclocheilus grahami*; Multivariate morphometrics; Principle component analysis; Dianchi Lake; Yunnan

滇池金线鲃 *Sinocyclocheilus grahami* (Regan, 1904) 分布于云南滇池，是滇池流域的特有鱼类，俗称金线鱼（Chu et al, 1989）。滇池金线鲃是国家二级保护水生野生动物，同时已被列入了《中国濒危动物红皮书（鱼类）》(Le & Chen, 1998)和中国物种红色名录（Wang & Xie, 2004）。但自 20 世纪 50 年代后期以来，外来物种的引入、酷渔滥捕、围湖造田、环境污染等多种原因，使得很多滇池中的土著鱼类处于灭绝或濒临灭绝的状态；80 年代以后，滇池中的原有土著鱼类几乎再也找不到了（Chen et al, 2001；Li, 2001）。滇池金线鲃目前仅分布在滇池流域一些水质较好的水库、龙潭及溪流中,且各居群之间是由滇池湖体相互连通，滇池污染导致各个居群间是相互隔离的，为确保这些居群的生存，必须首先搞清楚这些隔离居群之间有无发生种下分化，为今后的保育、复壮和进一步研究提供基础信息。

收稿日期：2009-03-30；接受日期：2009-09-16
基金项目：中国科学院西部之光项目（292006312D11033）；国家自然科学基金（30730017）；全球环境基金(GEF-MSP-TF051795)；云南省科技厅社会发展科技计划（2008CA001）
*通讯作者（Corresponding authors），E-mail: chenxy@mail.kiz.ac.cn, yangjx@mail.kiz.ac.cn

1 材 料

本研究检视标本均来自中国科学院昆明动物研究所鱼类标本馆收藏的福尔马林浸制标本，共测量 149 尾（表 1）。标本分别来自嵩明白邑、呈贡、昆明黑龙潭公园、昆明海口里仁龙潭、昆明小哨葛藤沟、滇池（图 1）。

2 方 法

2.1 形态度量学方法

运用多变量形态度量学研究的方法（Bookstein et al, 1985），选用了 13 个解剖学坐标点（landmarks

表 1 滇池金线鲃检视、测量标本采集地和标本数

Tab. 1 Specimen numbers and sampling localities of *Sinocyclocheilus grahami*

采集地 Sampling localities	标本量 Number
嵩明白邑 Songmingbaiyi	45
呈贡 Chenggong	46
昆明黑龙潭公园 Black Dragon Spring Park of Kunming	37
昆明海口里仁龙潭 Haikouliren Spring of Kunming	8
昆明小哨葛藤沟 Getenggou Xiaoshao of Kunming	11
滇池 Dianchi Lake	2

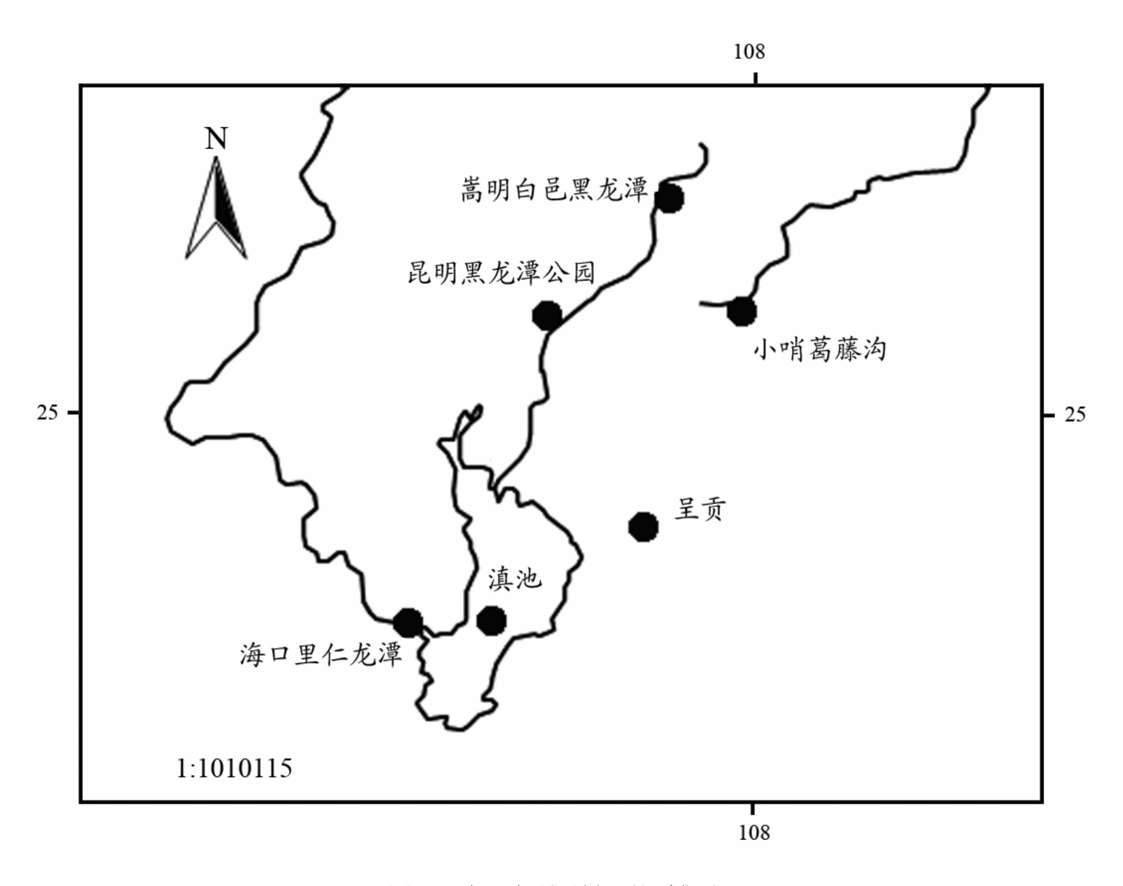


图 1 本研究所用样品的采集地

Fig. 1 The localities of samples in this study

of anatomy）（图 2），共测量了 20 个框架结构性状（frame character）和 19 个常规性状（general character），共计 39 个性状（表 2）。149 尾滇池金线鲃（*S. grahami*）标本在解剖镜下进行检视，总共获取了包括背鳍分枝鳍条、臀鳍分枝鳍条、胸鳍分枝鳍条、腹鳍分枝鳍条、尾鳍分枝鳍条、侧线鳞、侧线上鳞、侧线下鳞在内的 8 个可数性状。数据测量采用电子数显游标卡尺（electronic digital

caliper)，精确到 0.1 mm。

2.2　分析方法

可数性状标准化后直接进行主成分分析。可量性状的测量值经对数转换（$\log_{10}$）以消除异速生长及体型差异对分析结果的影响（Xie et al, 2003; Li et al, 2008）。主成分分析（principal component analysis, PCA）在SPSS 13.0 for Windows（SPSS Inc.）上完成，使用因子分析（factor analysis）中默认设置对数据标准化，选择相关矩阵（correlation matrix）协助因子分析，选择KMO和Bartleet 检验进一步确定进行分析的变量是否适合因子分析。

3　结　果

3.1　可数性状

方差显示，8 个可数性状中有 3 个性状（侧线鳞、侧线上鳞、侧线下鳞）在所检测标本中存在显

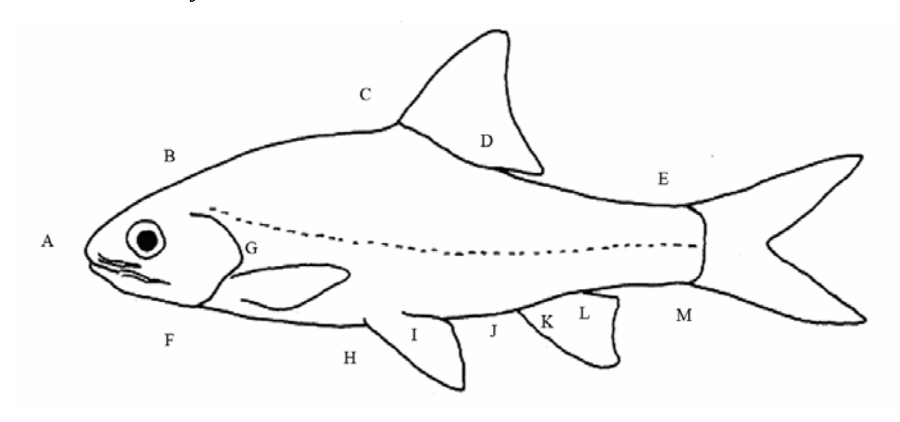


图 2　滇池金线鲃框架性状图

Fig. 2　Frame character for the species of *Sinocyclocheilus grahami*

A：吻端(snout tip)；B：枕骨后末端(posterior point of occipital)；C：背鳍起点(origin of dorsal fin)；D：背鳍基部末端(posterior point of dorsal-fin base)；E：尾鳍背部起点(dorsal origin of caudal fin)；F：鳃峡(isthmus branchiale)；G：胸鳍起点(origin of pectoral fin)；H：腹鳍起点(origin of pelvic fin)；I：腹鳍基部末端(posterior point of pelvic-fin base)；J：肛门(anus)；K：臀鳍起点(origin of anal fin)；L：臀鳍基部末端(posterior point of anal-fin base)；M：尾鳍腹部起点(ventral origin of caudal fin)。

表 2　检视标本形态性状及其主成分因子负荷

Tab. 2　Morphonetric characteristics and principle componentsextracted from examined materials

性状 Character	编号 Code	PC1	PC2	PC3
全长	TL	0.998	-0.018	-0.007
体长	SL	0.997	-0.034	-0.023
头长	HL	0.990	-0.072	0.091
体高	BD	0.983	-0.003	-0.127
吻长	LS	0.978	-0.088	0.045
眼径	ED	0.951	-0.095	0.113
眼后头长	EHL	0.974	-0.049	0.117
头高	HD	0.988	-0.053	0.035
背鳍长	DF	0.985	0.041	0.050
胸鳍长	PF	0.983	0.087	0.046
腹鳍长	VF	0.980	0.093	0.024
臀鳍长	AF	0.971	0.001	0.134
尾柄长	CPL	0.960	-0.106	-0.139
尾柄高	CPD	0.981	0.029	-0.133
尾鳍中央鳍条长	MCFL	0.959	0.025	0.065
尾鳍上叶长	CFL	0.986	0.046	0.057
臀鳍基后端处尾柄高	LCPD	0.977	-0.016	-0.149
吻须长	RBL	0.917	0.367	0.025

(续下表)

(接上表)

性状 Character	编号 Code	PC1	PC2	PC3
口角须长	MBL	0.930	0.323	0.020
吻端-枕骨后末端	A-B	0.988	-0.078	0.081
前背长	A-C	0.997	-0.035	0.016
前腹长	A-H	0.996	-0.029	0.040
前臀长	A-K	0.996	-0.026	0.014
吻端-鳃峡	A-F	0.979	-0.088	0.082
鳃峡-腹鳍基	F-H	0.976	0.004	0.030
腹鳍基后端-肛门	I-J	0.967	0.009	-0.097
枕骨后末端至背鳍起点	B-C	0.989	-0.006	-0.052
吻端至胸鳍基起点	A-G	0.989	-0.073	0.097
枕骨后末端至胸鳍基	B-G	0.991	-0.038	0.024
臀鳍起点至尾鳍基背侧点	K-E	0.988	-0.050	-0.074
背鳍基后端至尾鳍基腹侧点	D-M	0.986	-0.038	-0.092
胸腹起点间距	G-H	0.978	0.027	-0.002
枕骨后末端至腹鳍起点	B-H	0.994	-0.016	-0.001
腹鳍起点至臀鳍起点	H-K	0.979	-0.005	-0.041
背鳍起点至臀鳍起点	C-K	0.993	-0.002	-0.073
背鳍起点至胸鳍起点	C-G	0.992	0.002	-0.066
腹鳍起点至背鳍基后端	D-H	0.984	-0.015	-0.126
臀鳍基长	K-L	0.973	0.026	0.014
背鳍基长	C-D	0.984	-0.005	-0.015
贡献率 Variance (%)		96.009	0.845	0.578
累积贡献率 Cumulative (%)		96.009	96.854	97.433

著性差异 ($F_{侧线鳞、侧线上鳞、侧线下鳞}$=10.919、11.253、8.350，P<0.05)。但是在 6 个地理种群中侧线鳞、侧线上鳞、侧线下鳞无明显的间断分布，仅昆明小哨葛藤沟的标本的侧线鳞数、侧线上鳞数和侧线下鳞数较其他各组稍多（表 3）。因此在可数性状方面未见明显分化。

3.2 可量性状

前 3 个主成分的累计贡献率达到 97.43%（>85%）（表 2）。但由于 PC1 负荷值全为正（表 2）且均大于 0.9，说明标本个体间大小差异显著，但相互区分不明显。其他的主成分则反映的是形态上的差异。从表 2 中可以看出，在 PC2 中具有较大因子载荷的性状是吻须长、口角须长、尾柄长、吻长、眼径、胸鳍长、腹鳍长和 A-F。在 PC3 中具有

表 3 滇池金线鲃可数性状差异

Tab. 3 The differentia of meristic characters of *Sinocyclocheilus grahami*

	嵩明白邑（n=46）	呈贡（n=46）	昆明黑龙潭公园（n=37）	昆明海口里仁龙潭（n=8）	昆明小哨葛藤沟（n=11）	滇池（n=2）
侧线上鳞数 ALS	20－2（46）	19－28（46）	22－28（37）	22－26（8）	25－31（11）	24（2）
侧线鳞数 LS	56－7（46）	56－69（46）	59－69（37）	57－64（8）	64－78（11）	64，66（2）
侧线下鳞数 BLS	11－1（46）	9－16（46）	10－16（37）	11－16（8）	13－20（11）	10，12（2）
背鳍分枝鳍条数 D	7（46）	7（46）	7（37）	7（8）	7（11）	7（2）
臀鳍分枝鳍条数 A	5（46）	5（46）	5（37）	5（8）	5（11）	5（2）
胸鳍分枝鳍条数 P	13（46）	13（46）	13（37）	13（8）	13（11）	13（2）
腹鳍分枝鳍条数 V	8（45），9（1）	8(45)，9(1)	8（37）	8（8）	8（11）	8（2）
尾鳍分枝鳍条数 C	17（46）	17（46）	17（36），18（1）	17（8）	17（11）	17（2）

较大因子载荷的性状是体高、眼径、眼后头长、臀鳍长、尾柄长、尾柄高、D-H、臀鳍基后端处尾柄高、头长、A-B、A-G、A-F、D-M 和 I-J。

分别以 PC1、PC2、PC3 为 X-Y 轴，对所研究的标本以不同采集地为类别，利用因子得分数据进行了二维图相关分析，得到如图 3、4、5 所示的主成分分析结果的散布图。综合 3 个图可以看出：各个地点的个体分布相互混杂在一起，无论从 PC1 轴、PC2 轴还是 PC3 轴，都无法将它们区分开。根据相关计算公式及 Kaiser 给出的标准：KMO 值越接近 1，越适合作因子分析。本文选用的变量 KMO 值为 0.969（表 4），Bartleet 检验被拒绝，因此所选变量适合做因子分析。

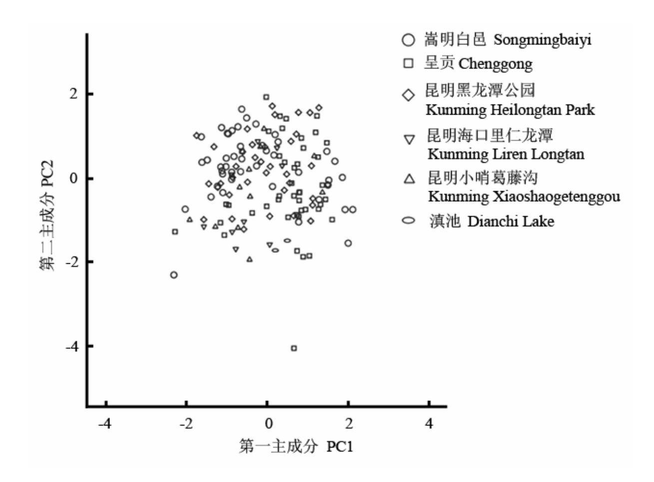


图 3　滇池金线鲃第一、二主成分散点图
Fig. 3　Scatterplots of scores on PC1 and PC2 of *Sinocyclocheilus grahami*

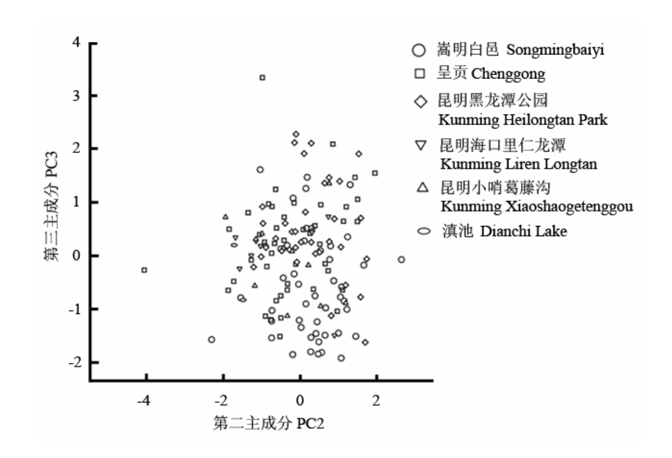


图 4　滇池金线鲃第二、三主成分散点图
Fig. 4　Scatterplots of scores on PC1 and PC3 of *Sinocyclocheilus grahami*

表 4　SPSS巴特利特球形检验和Kaiser-Meyer-Olkin检验
Tab. 4　KMO and Bartlett’s Test using SPSS program

KMO检验 Kaiser-Meyer-OlkinMeasure of Sampling Adequacy		0.969
巴特利特球形检验 Bartlett's Test of Sphericity	开方值 Value of Chi-Square	22458.547
	自由度 Degrees of freedom	741
	显著水平 Significant level	0.000

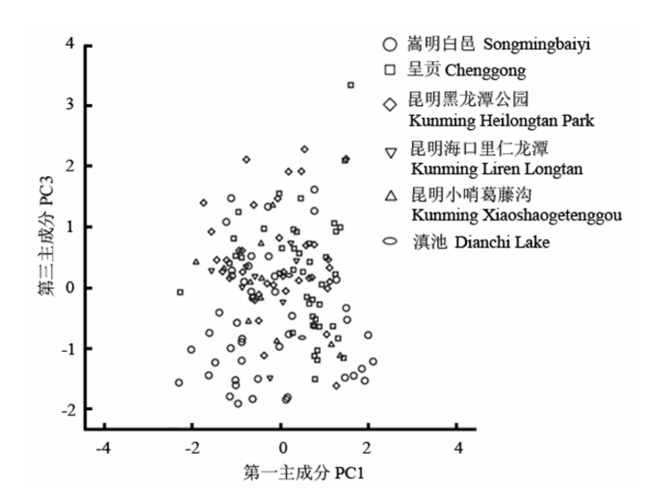


图 5　滇池金线鲃第一、三主成分散点图
Fig. 5　Scatterplots of scores on PC2 and PC3 of *Sinocyclocheilus grahami*

4　讨　论

Xiao（2004）和 Zhao（2006）都认为本种具有很高的遗传多样性，而综合对可数性状和可量性状的分析结果，发现滇池金线鲃不同居群间尚未出现显著的形态分化。滇池金线鲃属于洞穴鱼类（Li et al, 1994），地理隔离是造成金线鲃属鱼类物种分化的最主要机制（Zhao，2006）。20 世纪 80 年代以前滇池金线鲃在滇池中仍有一定产量，以后在湖体中逐渐消失，而在湖体周边的龙潭中仍有不同居群分布。这些居群的相互隔离主要是地表水的污染（湖体）及水体之间的隔离（水坝）造成的。距今仅 20 多年时间，居群之间相互隔离的时间不长，所以该种在形态上尚无明显分化。为更好地回答该种有无

分化的问题，下一步需要借助分子生物学手段，对各居群进行分子水平上的研究。

致谢：兰州大学的李金录博士、昆明动物研究所的和孟妮、耿志佳、舒树森对本研究给予了各方面的帮助，在此一并表示感谢！

参考文献：

Bookstein FL, Chernoff B, Elder RL, Humphries JM, Smith GR, Strauss RE. 1985. Morphometrics in Evolutionary Biology [M]. Philadelphia: The Academy of Natural Science Special Publication.

Chen ZM, Yang JX, Su RF, Chen XY. 2001. Present status of the indigenous fishes in Dianchi Lake, Yunnan [J]. *Bio Sci*, **9**(4): 407-413. [陈自明, 杨君兴, 苏瑞凤, 陈小勇. 2001. 滇池土著鱼类现状. 生物多样性, **9**(4): 407-413.]

Chu XL, Cui GH. 1989. Barbinae [A]. In: Chu XL & Chen YR. The Fishes of Yunnan, China. Part Ⅰ[M]. Science Press. Beijing, 180-203. [褚新洛, 崔桂华. 1989. 鲃亚科. 见: 褚新洛, 陈银瑞. 云南鱼类志(上册). 北京: 科学出版社, 180-203.]

Le PQ, Chen YY. 1998. Fish (series of *China Red Book of Endangered Animals* edit by WANG Song) [M]. Beijing: Science Press. [乐佩琦, 陈宜瑜. 1998. 中国濒危动物红皮书（鱼类）. 科学出版社, 北京: 104-105.]

Li WX, Wu DF, Chen AL. 1994. Study on the genus Sinocyclocheilus fishes from Yunan Province, China[J]. *J Fish*, **7**(2): 6-12. [李维贤, 武德方, 陈爱玲. 1994. 云南金线鲃SINOCYCLOCHEILUS鱼类研究. 水产学杂志, **7**(2): 6-12.]

Li WX. 2001. The Distribution of Surviving Sinocyclocheilus Grahami and Other Endemic Fishes in Dianchi Lake Valley[J]. *J Jishou Univ* (*Natural Science Edition*), **22**(4): 72-74. [李维贤. 2001. 滇池流域滇池金线鲃及部分土著鱼种的残存分布. 吉首大学学报(自然科学版), **22**(4): 72-74.]

Li X, Li FL, Liu K, Zhou W. 2008. Morphologic Differentiation and Taxonomic Status of Pseudecheneis (Siluriformes: Sisoridae) from Irrawaddy and Salween Drainages, China[J]. *Zool Res*, **29**(1): 83-88. [李 旭, 李凤莲, 刘 恺, 周 伟. 2008. 中国伊洛瓦底江和怒江褶鮡属鱼类的形态差异及分类地位. 动物学研究, **29**(1): 83-88.]

Regan CT. 1904. On a collection of fishes made by Mr. John Graham at Yunnan Fu[J]. *Ann Mag Nat Hist*, **13**(7): 190.

Wang S, Xie Y. 2004. *China Species Red List Vol. 1: Red List* [M]. Higher Education Press, Beijing, China. [汪 松, 解 焱. 2004. 中国物种红色名录. 北京: 高等教育出版社.]

Xiao H, Li WX, Jiu RG. 2004. The three new species of Sinocyclocheilus from Kunming,Yunnan.Southwest China[J]. *J Agri Sci*, **17**(4): 521-524. [肖 蘅, 李维贤, 昝瑞光. 2004. 昆明金线鲃属三新种记述. 西南农业学报, **17**(4): 521-524.]

Xie ZG, Xie CX, Zhang E. 2003. Morphological Variations Among the Chinese Species of Sinibrama (Pisces: Teleostei: Cyprinidae), with Comments on Their Species Validities[J]. *Zool Res*, **24**(5): 321-330. [谢仲桂, 谢从新, 张 鹗. 2003. 我国华鳊属鱼类形态差异及其物种有效性的研究. 动物学研究, **24**(5): 321-330.]

Zhao YH. 2006. An Endemic Cavefish Genus Sinocyclocheilus in China—Speciese diversity,Systematics,and Zoogeography (Cypriniformes:Cyprinidae)[D]. Doctor Dissertation,Institute of Zoology,Chinese Academy of Sciences. [赵亚辉. 2006. 中国特有洞穴金线鲃属（鲤形目：鲤科）鱼类的研究——物种多样性、系统演化和动物地理. 博士学位论文, 中国科学院动物研究所.]

～～

《动物学研究》再次荣获第三届云南省优秀期刊奖

10 月 16 日下午，云南省新闻出版局召开表彰大会，对荣获第三届云南优秀期刊各奖项的单位和个人给予表彰。《动物学研究》继第二届获得优秀期刊奖后，再次荣获第三届云南省优秀期刊奖，并获优秀装帧奖；本刊编辑聂龙获优秀编辑奖。本次评奖活动由云南省新闻出版局、云南省期刊协会组织开展，旨在进一步促进云南省期刊业的繁荣发展，加快期刊出版体制改革的步伐。评选工作历时近半年，经评委会初评、终评，最终评出：优秀期刊 25 种、改革创新期刊 36 种、优秀主编/社长 61 人、突出贡献 52 人、优秀编辑 109 人、优秀栏目 92 个、优秀装帧 25 种。

《动物学研究》编辑部
2009 年 10 月 19 日